

Vuelos tripulados a la Luna

Joan Rosselló

Ingeniero Aeronáutico



Rosselló, J. (2010). Vuelos tripulados a la Luna. In: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 151-168. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resumen: Hablar de viajes tripulados a la Luna es sinónimo del Programa Apolo, la primera y única misión tripulada a otro cuerpo celeste fuera de la Tierra, cuyo objetivo era llegar a la Luna y volver, tratando de minimizar los riesgos para la tripulación y los costes. El primer alunizaje tuvo lugar con la misión Apolo XI, las demás misiones tuvieron éxito en el intento de alunizar excepto en la misión Apolo XIII. Los costes del Programa Apolo se estiman en unos 25 000 millones de dólares del año 1965; a lo largo de su desarrollo, alrededor de 400 000 personas trabajaron en él y más de 20 000 empresas y universidades colaboraron en este proyecto. El Programa Apolo estimuló grandes avances y destaca su gran contribución en el campo de la aviónica, telecomunicaciones e informática. Aplicaciones tales como los circuitos integrados, las pilas de combustible, materiales o máquinas industriales de mecanizado por control numérico son ejemplos concretos del legado del Programa Apolo.

Abstract: To speak of trips to the Moon is synonymous with the Apollo program, the first and only manned mission to another celestial body beyond Earth, which aimed to reach the moon and back, trying to minimize risk to the crew and costs. The first landing took place with the Apollo XI mission, other missions were successful in the attempt to land on the moon than the Apollo XIII mission. The Apollo program cost is estimated at around 25 000 million in the year 1965, throughout its development, about 400 000 people worked on it and over 20 000 companies and universities collaborated on this project. The Apollo program stimulated great advances and she contributed in the field of avionics, telecommunications and IT. Applications such as integrated circuits, fuel cells, materials and industrial machines CNC machining are concrete examples of the legacy of the Apollo program.

Resum: Parlar dels viatges tripulats a la Lluna és sinònim del Programa Apol·lo, la primera i única missió tripulada a un altre cos celest fora de la Terra, amb l'objectiu d'arribar a la Lluna i tornar, intentant minimitzar tant els riscos per a la tripulació com els costs. El primer allunatge fou amb la missió Apol·lo XI, les altres missions varen tenir èxit amb l'excepció de la missió Apol·lo XIII. Els costs del Programa Apol·lo s'estimen en uns 25 000 milions de dòlars de l'any 1965; durant el seu desenvolupament, al voltant de 400 000 persones hi van treballar i més de 20 000 empreses i universitats col·laboraren en aquest projecte. El Programa Apol·lo va ser l'estímul de grans avanços i destaca la gran contribució en camps com ara la aviònica, telecomunicacions i informàtica. Aplicacions com ara els circuits integrats, les piles de combustible, materials o màquines industrials de mecanitzat per control numèric formen part del llegat del Programa Apol·lo.

Introducción

El viaje a la Luna ha sido una aspiración del hombre desde tiempos inmemoriales. El primer documento escrito en el que se describe un viaje a la Luna es una novela corta, *Relatos Verídicos*, escrita por Luciano de Samósata en el siglo II en donde idea un viaje a la Luna en un barco arrastrado por una providencial tromba de agua. Esta novela está considerada como el primer relato de ciencia-ficción.

Otros muchos autores han relatado viajes fantásticos con destino la Luna, como por ejemplo Cyrano de Bergerac (*Histoire comique des États et Empires de la Lune*, 1650), Julio Verne (*De la Tierra a la Luna*) o Georges Méliès en su película *Viaje a la Luna* rodada en 1902.

Fue en el siglo XX cuando esta vieja aspiración de viajar a la Luna fue alcanzada por el hombre.

Nuestra generación ha tenido la suerte de poder ser testigo de este hito de la Humanidad, para muchos el mayor logro tecnológico conseguido por el hombre. Para muchos también es considerado como un acontecimiento histórico para la Humanidad de una magnitud comparable al descubrimiento de América.

Hablar de viajes tripulados a la Luna es prácticamente sinónimo del Programa Apolo, la primera y única misión tripulada a otro cuerpo celeste fuera de la Tierra. El origen y materialización de este proyecto fue consecuencia de una serie de circunstancias muy especiales que confluyeron en un determinado momento y que difícilmente se van a repetir.

Probablemente muchos de los factores desencadenantes de todo ello tengan su origen en la Segunda Guerra Mundial. Por un lado, el desarrollo de tecnologías orientadas a usos militares dio un gran impulso al estudio y desarrollo de los cohetes. Por otro lado la Segunda Guerra Mundial fue motivo del surgimiento de los dos grandes bloques en el orden mundial que dieron lugar a la Guerra Fría de la cual surgiría la carrera espacial.

El programa Apolo (Fig. 1) surgió a principio de la década de los 60, en la época de Eisenhower, inicialmente ideado como continuación del programa Mercury, el cual contemplaba el envío de 3 astronautas en órbita terrestre con la posibilidad de llevar a cabo aterrizajes en la Luna. El presupuesto que recibió la NASA en la época de Eisenhower no dejaba muy claro el futuro de este proyecto. Sin embargo con la llegada de Kennedy a la presidencia de los EEUU el programa Apolo recibió un gran respaldo.

Los significativos logros conseguidos por los soviéticos, especialmente el Sputnik y el vuelo de Gagarin, situaron a la URSS al frente de la carrera espacial, lo cual tuvo un fuerte impacto en la opinión pública en los EEUU. El Presidente Kennedy, consciente de ello, tomó la decisión de apoyar decididamente el programa espacial americano con la intención de volver a liderar la carrera espacial.

El 25 de mayo de 1961 el Presidente Kennedy pronunció un histórico discurso (Fig. 2) en el Congreso de los EEUU en el cual anunció el compromiso de enviar el hombre a la Luna:

“First, I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth. No single space project in this period will be more impressive to mankind, or more important in the long-range exploration of space; and none will be so difficult or expensive to accomplish”.



Figura 1: Logotipo del programa Apolo. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 1: Apollo program insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Por aquel entonces apenas un mes antes había tenido lugar el primer vuelo al espacio de un astronauta americano, y ni siquiera se habían realizado vuelos tripulados en órbita terrestre. Incluso dentro de la propia NASA había dudas sobre la posibilidad de poder cumplir con el ambicioso objetivo fijado por Kennedy.



Figura 2: El Presidente Kennedy en el Congreso de los EEUU, el 25 de mayo de 1961, día en el que anunció el compromiso de enviar el hombre a la Luna. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 2: President Kennedy in the U.S. Congress, on May 25, 1961, the day he announced the commitment to send man to the moon. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El Programa Apolo pasó a convertirse en un gran desafío tecnológico, con el mayor presupuesto económico (24 000 millones de dólares) jamás asignado por un país en tiempos de paz.

Al hablar del Programa Apolo, es obligado hacer referencia a una figura fundamental y decisiva para el éxito del proyecto como fue el Dr. Von Braun (Fig. 3).

Wernher von Braun (1912-1977) era un ingeniero aeroespacial de origen alemán, nacido en el seno de una familia noble en Wirsitz (entonces Alemania, hoy Polonia).

En la Segunda Guerra Mundial, Von Braun y su equipo de colaboradores trabajaban en un laboratorio secreto en Peenemünde, en donde desarrollaron los cohetes V2.

Von Braun pudo contactar con los aliados y preparó la rendición ante las fuerzas estadounidenses, quienes desarrollaban la operación Paperclip para capturar a científicos alemanes y ponerlos al servicio del bando aliado. Von Braun se entregó junto a otros 500 científicos de su equipo, sus diseños y varios vehículos de prueba.

Una vez en EEUU, von Braun y sus colaboradores fueron instados a cooperar con la fuerza aérea estadounidense, a cambio, se les eximiría de culpa por su pasado nazi.

En la década de 1950, von Braun ya era conocido en los Estados Unidos y actuaba como el portavoz de la exploración espacial de ese país.

En 1960, su centro para el desarrollo de cohetes fue transferido del ejército a la NASA y allí se le encomendó la construcción de los gigantescos cohetes Saturno, siendo el más grande de ellos el que puso al hombre en la Luna.

Von Braun se convirtió en el director del Marshall Space Flight Center de la NASA y el principal diseñador del Saturno V, que llevarían a los estadounidenses a la Luna.



Figura 3: Wernher von Braun, figura decisiva del Programa Apolo. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 3: Wernher von Braun, decisive figure of the Apollo program. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Elección del tipo de misión

Una vez definido el objetivo por parte del presidente Kennedy, los responsables del Programa Apolo tenían el reto de diseñar una serie de vuelos que pudieran cumplir con el objetivo establecido tratando de minimizar los riesgos para la tripulación y los costes. Una tarea extremadamente difícil que conllevaba un gran esfuerzo tecnológico.

Al principio se consideraron 4 tipos de misión:

- **Ascenso Directo (Direct Ascent):** en esta misión la nave espacial viajaría directo a la Luna, aterrizaría y volvería como una unidad. Para esta misión se requería un cohete lanzador muy potente, como era el previsto cohete Nova.
- **Encuentro en Órbita Terrestre (Earth Orbit Rendezvous, EOR):** para esta misión se preveía el lanzamiento múltiple de cohetes (hasta 15), transportando cada uno de ellos diferentes partes de una nave espacial de Ascenso Directo y unidades de propulsión. Todas estas partes se ensamblarían en órbita terrestre y la nave aterrizaría en la Luna como una unidad.
- **Encuentro en la Superficie Lunar (Lunar Surface Rendezvous):** se lanzarían de forma sucesiva dos naves espaciales. La primera nave no tripulada transportaría combustible y aterrizaría en la Luna de forma automática. La segunda nave llegaría posteriormente con la tripulación a bordo. El combustible sería transferido de la primera nave a la segunda para que la tripulación pudiese volver a la Tierra.
- **Encuentro en Órbita Lunar (Lunar Orbit Rendezvous, LOR):** se lanzaría una nave compuesta por varios módulos. Un módulo de comando permanecería en órbita alrededor de la Luna, mientras que un módulo lunar descendería a la Luna y volvería para acoplarse al módulo de comando en órbita lunar. Esta opción requería una pequeña nave para aterrizar en la Luna, lo cual ofrecía la ventaja frente a las otras opciones de minimizar la masa total a ser lanzada desde la superficie lunar para el viaje de regreso.



Figura 4: El Dr. John Houbolt encabezaba el sector que defendía una misión a la Luna del tipo Encuentro en Órbita Lunar, LOR. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 4: The Dr. John Houbolt led the sector defended by a mission to the Moon of the Lunar Orbit Rendezvous kind, LOR. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

A principios del año 1961 el Ascenso Directo era la opción asumida por la NASA de forma indiscutible. Muchos ingenieros eran muy reticentes a los encuentros y atraques de naves dado que no se había intentado nunca ni siquiera en órbita terrestre, y hacerlo en órbita lunar sería extremadamente complicado.

Sin embargo había un sector crítico con esta opción, encabezados por el Dr. John Houbolt (Fig. 4), quienes remarcaban la importancia de la reducción de peso que ofrecía la opción LOR.

Tras un largo e intenso debate, en julio de 1962 la NASA anunció formalmente su decisión favorable a la opción LOR para la misión a la Luna.

Con posterioridad varios analistas han reconocido que la NASA, de no haber elegido esta opción, muy posiblemente hubiese alcanzado la Luna, pero con toda seguridad no lo hubiese logrado para el final de la década de los 60, fuera del plazo establecido por el Presidente Kennedy.

Además, la selección de la opción LOR sería reafirmada tras lo ocurrido en la misión Apolo XIII, en la cual el módulo de servicio quedó dañado. Sin el segundo e independiente sistema de soporte vital que representaba el módulo lunar, los astronautas habrían perecido.

Vehículo espacial Apolo

La selección de la opción LOR marcó el diseño básico de la nave Apolo, que consistiría en dos partes principales: el Módulo de Mando/Servicio (CSM), en el cual la tripulación permanecería la mayor parte de la misión, y el Módulo Lunar (LM) también conocido como LEM (*Lunar Excursion Module*), con el cual se descendería y se retornaría de la superficie lunar. Asimismo el tipo de misión también definió el tipo de cohete lanzador requerido.

Lanzador

Cuando el equipo de ingenieros dirigido por Wernher von Braun empezó con el proyecto Apolo, aún no estaba claro para qué tipo de misión tenían que diseñar el cohete lanzador.

La opción de ascenso directo requería un lanzador, el proyectado cohete Nova, capaz de subir una carga de pago muy pesada. La decisión de la NASA a favor de la opción LOR reorientó el trabajo de los ingenieros del Marshall Space Flight Center hacia el desarrollo de los cohetes Saturno 1B y Saturno V (Fig. 5). Aún siendo menos potentes que lo que hubiese sido el

Nova, el Saturno V era aún mucho más potente que cualquier lanzador desarrollado hasta la fecha. Este récord lo sigue ostentando.

El Saturno V medía 111 metros y tenía una capacidad para transportar 118 000 kg a una órbita LEO y 47 000 kg a la Luna. Consistía en 3 fases y de una Unidad de Instrumentos con el sistema de guiado del lanzador.



Figura 5: El cohete lanzador Saturno V. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 5: The Saturn V rocket launcher. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Estas fases eran:

- Fase 1, también conocida como S-IC, estaba provista de 5 motores cohete del tipo F-I alimentados con queroseno y oxígeno líquido (LOX). Esta fase era fabricada por Boeing, medía 42 metros de alto y tenía un diámetro de 10,1 metros. El empuje al despegue era superior a las 7,5 millones de libras (equivalente a 30 aviones del tipo A380). El tiempo de funcionamiento era de 2,5 minutos, acelerando la nave hasta una velocidad de 6000 millas por hora aprox. (2,68 km/s).
- Fase 2, también conocida como S-II, estaba provista de 5 motores cohete del tipo J-2 alimentados con hidrógeno líquido (LH2) y LOX. Esta fase era fabricada por North American Aviation y medía 24,8 metros de altura y se encendía una vez desprendida la primera fase. El empuje proporcionado era de 1 millón de libras. Su tiempo de funcionamiento era de 6 minutos aproximadamente, situando la nave a 115 millas de altitud (185 km) con una velocidad de 15 300 millas por hora (6,84 km/s).
- Fase 3, también conocida como S-IVB, estaba provista de 1 motor cohete del tipo J-2 alimentado con LH2 y LOX. La empresa fabricante era Douglas Aircraft y tenía una altura de 17,8 metros. Esta fase se encendía una vez desprendida la segunda fase y su tiempo de funcionamiento era de 2,75 minutos situando la nave en órbita terrestre a una velocidad de 17 500 millas por hora (7,82 km/s). Posteriormente se apagaba y se volvía a encender para inyectar la nave espacial en una trayectoria hacia la Luna a una velocidad de 24 500 millas por hora (11 km/s), velocidad de escape del campo gravitatorio terrestre.

La misión no tripulada Apolo IV (nov'67) fue el primer ensayo de lanzamiento del Saturno V, que también fue utilizado para el lanzamiento de la estación espacial Skylab. Desgraciadamente el Saturno V fue abandonado al finalizar el Programa Apolo. Se construyeron otros 2 cohetes Saturno V que inicialmente iban a ser utilizados en las misiones Apolo canceladas. Estos cohetes se exhiben actualmente como piezas de museo en el JFK Space Center, Cabo Cañaveral-Florida, en el Marshall Space Centre, Huntsville-Alabama y en el Johnson Space Center, Houston-Texas.

Módulo de Mando / Servicio – *Command / Service Module (CSM)*

El Módulo de Mando (*Command Module*, CM) estaba diseñado para albergar a 3 astronautas. Tenía forma cónica, con una altura de 3,18 metros y un diámetro en la base de 3,9 m y su peso, incluyendo a los tres astronautas, era de 5534 kilogramos. Su volumen interior era de 5,9 m³.

El Módulo de Servicio (*Service Module*, SM) estaba acoplado al CM y albergaba los sistemas de propulsión, pilas de combustible, antenas de comunicaciones, así como tanques de oxígeno y agua principalmente. Era una estructura cilíndrica de 7,5 m de largo y 3,9 m de diámetro. En las misiones Apolo XV, XVI y XVII el CM también albergaba algunos equipos con instrumentos científicos.

Los dos módulos (Fig. 6) permanecerían unidos hasta justo antes de la reentrada, momento en el cual el SM era desprendido. Solamente el CM estaba provisto de un escudo térmico para proteger a la nave y sus ocupantes del intenso calor producido durante la reentrada. Seguidamente se desplegarían los paracaídas para un descenso apropiado a través de la atmósfera y posterior amerizaje en el océano.

La empresa North American Aviation fue la que ganó el contrato para diseñar y construir el CSM para la NASA. Esta misma empresa era la que había diseñado con éxito el famoso avión cohete X-15 con el cual se realizaron varios vuelos al borde del espacio con anterioridad a los vuelos tripulados en cohetes.



Figura 6: El Módulo de Mando, CM, y el Módulo de Servicio, SM, permanecían acoplados hasta el momento de la reentrada. (NASA/Cortesía de nasaimages.org)

Figure 6: Command Module, CM, and the Service Module, SM, remained coupled to the time of reentry. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El diseño del CM tuvo que ser revisado tras el accidente del Apolo I en el que murieron los 3 astronautas al quedar atrapados dentro de la cápsula en un incendio originado por un cortocircuito.

Módulo Lunar – *Lunar Module (LM)*

El Módulo Lunar (*Lunar Module, LM*), también inicialmente denominado como *Lunar Excursion Module* o LEM (Fig. 7), fue diseñado únicamente para aterrizar en la Luna y ascender desde la superficie lunar hasta el CM. Tenía una protección térmica muy limitada y su estructura tan ligera que no hubiese sido capaz de volar en condiciones de gravedad terrestre. Sin embargo demostró ser un vehículo extraordinariamente manejable y muy bien adaptado a las condiciones de gravedad lunar.

La estructura del LEM era de aluminio, siendo sus dimensiones totales de 6,98 m de altura y 9,45 de anchura con un peso total en vacío de 15 061 kg.

Constaba de dos fases: una de descenso y otra de ascenso que iban unidos mediante 4 pernos explosivos. La fase de descenso incorporaba compartimentos para albergar el equipamiento instrumental científico (*Apollo Lunar Surface Experiment Package-ALSEP*) así como el *Lunar Rover Vehicle LRV*.

Tres de las cuatro patas del módulo de descenso iban equipadas con un sensor de 173 cm de largo, que tenía como misión indicar a los pilotos el momento del contacto con la superficie lunar para así detener el motor de frenado, la última pata portaba la escalerilla de descenso.



Figura 7: El Módulo Lunar, LM, fue diseñado únicamente para aterrizar en la Luna y ascender desde la superficie lunar hasta el Módulo de Mando, CM. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 7: The Lunar Module, LM, was designed only to land on the Moon and ascend from the lunar surface to the Command Module, CM. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Poseía asimismo la capacidad de inclinarse hasta 6° en cualquier dirección, si bien los desplazamientos laterales de la nave se efectuaban con ayuda de pequeños cohetes situados en el módulo de ascenso.

El puesto de pilotaje era de forma cilíndrica, con capacidad para dos astronautas en un volumen habitable de $4,53 \text{ m}^3$ y con una atmósfera interior de oxígeno al 100 % y $23,8^\circ\text{C}$ de temperatura.

Los astronautas no disponían de asientos, manteniéndose erguidos mediante un sistema de tirantes y abrazaderas que evitaban las sacudidas, pues según los técnicos, era la mejor posición para que los tripulantes soportaran bien el choque con la superficie lunar.

Para la observación directa existían dos ventanillas poligonales a la altura de la vista, así como otra situada en el techo y utilizada para la maniobra de atraque.

Tras finalizar la misión en la superficie lunar, el módulo de ascenso se separaba utilizando el módulo de descenso como plataforma de despegue.

El módulo de ascenso realizaba un vuelo vertical, pasando a ser oblicuo y posteriormente paralelo a la superficie lunar hasta la órbita de aparcamiento en donde se acoplaría al CSM. Finalmente la fase de ascenso del LEM era dejado en órbita lunar o estrellado violentamente contra la superficie con la intención de provocar “lunamotos”.

El contrato para el diseño y construcción del LEM fue ganado por la empresa Grumman.

También hubo problemas con el LEM debido a los retrasos en el programa de ensayos, llegando a poner en riesgo de retrasar todo el programa Apolo. Debido a estos problemas, la planificación del programa Apolo fue modificada de forma que la primera misión con el LEM sería con el Apolo IX en lugar del Apolo VIII tal como estaba inicialmente previsto. Este cambio de planes fue audaz porque en lugar de realizar una misión de órbita terrestre, decidieron mandar el Apolo VIII a una misión alrededor de la Luna en las Navidades de 1968.

Kennedy Space Center

Como decía Mr. James Webb, administrador de la NASA desde 1961 hasta 1968, “el camino hacia la Luna empieza entre la piedra, el acero y el cemento de la Tierra”.



Figura 8: Kennedy Space Center con el gigantesco edificio Vehicle Assembly Building, en el que se ensamblaban los componentes del Saturno V. (NASA/Cortesía de nasaimages.org)

Figure 8: Kennedy Space Center to the Vehicle Assembly Building gigantic building, which is assembling the components of the Saturn V. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Para el Programa Apolo se construyó el gigantesco edificio (Fig. 8) denominado como *Vehicle Assembly Building* (VAB) para poder ensamblar los componentes del Saturno V. Este edificio tiene una altura de 160 m, con una base de 158 x 218 metros. Su volumen es de $3,7$

millones de m³ ostentando el récord hasta que Boeing construyó su planta de ensamblaje en Everett (Seattle). Como dato curioso y que refleja la magnitud de esta construcción, su sistema de aire acondicionado impide que puedan tener lugar fenómenos atmosféricos en su interior como nubes y lluvia.

Asimismo se construyeron las plataformas de lanzamiento 39A y 39B situadas a 5 km del VAB. El Apolo era montado encima de un enorme vehículo oruga que lo transportaba desde el VAB hasta la plataforma de lanzamiento, con una superficie de 49 x 40 m (equivalente a medio campo de fútbol) y una velocidad máxima de 1,5 km/h sobre una pista de 40 metros de anchura.

Comunicaciones

Una extensa red de comunicaciones fue utilizada para dar cobertura a las misiones Apolo. Esta red ya fue puesta a punto para el programa Mercury.

Un total de 11 estaciones terrestres con antenas de 9 metros de diámetro fueron utilizadas para las comunicaciones mientras la nave permanecía en órbita terrestre, utilizando frecuencias en banda S. Complementaban estas 11 estaciones 4 barcos de la USNS y varios aviones especiales de la NASA.

Cuando la nave abandonaba la órbita terrestre, pasaban a utilizarse las 3 estaciones de la NASA para sondas espaciales (Deep Space Network) situadas en Goldstone (California), Canberra (Australia) y Robledo de Chavela (Madrid) y provistas de antenas de 25,5 metros.

Misiones tripuladas

Tras 3 vuelos no tripulados, del Apolo IV hasta el Apolo VI, efectuados con cohetes Saturno 1B y Saturno V, empezaron las misiones tripuladas.

APOLO VII

Lanzamiento: 11 de octubre de 1968.

Cohete lanzador: Saturno 1B

1ª Misión Tripulada CSM

1ª Tripulación de tres hombres

1ª Transmisión de TV en vivo desde la Cápsula

Tripulación: Walter M. Schirra (Comandante), Donn F. Eisele y R. Walter Cunningham.

El Apolo VII fue lanzado impulsado por el Saturno 1B, en su primera prueba con tripulación de tres hombres a bordo. El Módulo de Mando había sido rediseñado después del incendio del Apolo I.

La misión se desarrolló en una órbita terrestre con la finalidad de probar el funcionamiento del CM. No llevaba el LEM.

Se efectuaron un total de 163 órbitas alrededor de la Tierra.

Duración: 11 días

Insignia de la misión: Fig. 9.



Figura 9: Insignia de la misión Apolo VII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 9: Apollo VII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO VIII

Lanzamiento: 21 diciembre de 1968.

Cohete lanzador: Saturno V (primera vez).

Tripulación: Frank Borman (Comandante), James A. Lovell y William A. Anders.

Misión en órbita lunar.

Primera misión lunar tripulada, el objetivo de la cual fue cambiado poco antes del lanzamiento: en lugar de otro vuelo en órbita terrestre, sería el primer viaje tripulado en órbita lunar. Estuvieron en órbita lunar durante 20 horas con 10 órbitas. No llevaba el LEM.

Por primera vez el hombre pudo contemplar la cara oculta de la Luna, así como observar una salida de Tierra. Se obtuvieron multitud de fotos de la superficie lunar que luego fueron analizadas para determinar posibles lugares para el aterrizaje.

Los astronautas sufrieron leves problemas de sueño y de salud.

Insignia de la misión: Fig. 10.



Figura 10: Insignia de la misión Apollo VIII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 10: Apollo VIII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO IX

Lanzamiento: 3 de marzo de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Grumdop / Spider.

Cohete lanzador: Saturno V

Tripulación: James A. McDivitt (Comandante), David R. Scott y Russell L. Schweickart.

Misión en órbita terrestre. Primera prueba en órbita terrestre del LEM. La nave Apollo IX se acopló al Módulo Lunar llamado Spider que estaba alojado en la segunda etapa del cohete Saturno. Después del acoplamiento las dos naves se separaron hasta una distancia máxima de 160 kilómetros.

El LEM fue probado, sus motores fueron encendidos para alcanzar una nueva órbita, se separó de su fase inferior de descenso y se acopló de nuevo con el CM Grumdop.

Se realizaron “paseos espaciales” EVA.

Causó preocupación el hecho de que el piloto del LEM, Russell L. Schweickart, vomitara en dos ocasiones.

Duración: 10 días

Insignia de la misión: Fig. 11.



Figura 11: Insignia de la misión Apollo IX. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 11: Apollo IX mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO X

Lanzamiento: 18 de mayo de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Charlie Brown / Snoopy.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Eugene A. Cernan (Comandante), John W. Young y Thomas P. Stafford.



Figura 12: Insignia de la misión Apollo X. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 12: Apollo X mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Misión en órbita lunar.

Segundo vuelo tripulado a la Luna.

El vuelo del Apolo X fue un ensayo general en el cual se realizaron todas las maniobras que dos meses después efectuaría el Apolo XI. El Módulo Lunar Snoopy se acercó a menos de 10 millas de la superficie lunar, antes de separarse de la fase inferior de descenso y regresar a acoplarse con el Módulo de Mando Charlie Brown.

Duración: 8 días.

Insignia de la misión: Fig. 12.

APOLO XI

Lanzamiento: 16 de julio de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Columbia / Eagle.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Neil A. Armstrong (Comandante), Edwin E. Aldrin y Michael Collins.

Alunizaje con éxito (20 de julio).

Localización Lunar: Mar de la Tranquilidad.

Histórico primer aterrizaje tripulado en la Luna y actividades extravehiculares en la superficie de la Luna.

Durante el descenso, a 12 km de altura sobre la superficie lunar, surgieron problemas con el ordenador de a bordo debido a una saturación de datos, lo cual estaba dando lugar a que saltaran diferentes señales de alarma. Tras una rápida y eficaz evaluación de la situación por parte de los ingenieros de la NASA, el Eagle recibe autorización desde Houston para continuar con el descenso ("Go Eagle, go!"). A pocos metros de la superficie lunar, la tripulación observa que el punto de aterrizaje establecido por el ordenador de a bordo en realidad está en el interior de un cráter lleno de rocas, por lo que pasaron a modo manual. El Eagle se elevó a 150 metros para desplazarse lateralmente y buscar otro lugar para aterrizar. El Eagle finalmente se posó sobre la superficie lunar con un combustible remanente para tan solo 25 segundos de vuelo.

Muestras recogidas: 22 kg de rocas lunares.

Duración: 8 días.

Insignia de la misión: Fig. 13.



Figura 13: Insignia de la misión Apolo XI. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 13: Apollo XI mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org)

APOLO XII

Lanzamiento: 14 noviembre de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Yankee Clipper / Intrepid.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Charles Conrad, (Comandante), Richard F. Gordon y Alan L. Bean.

Alunizaje con éxito.

Localización Lunar: Océano de las Tormentas.

Segunda misión de alunizaje.

La misión estuvo a punto de ser abortada debido al impacto de un rayo en el despegue que causó la pérdida de telemetría, afortunadamente solventado durante el vuelo.



Figura 14: Insignia de la misión Apolo XII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 14: Apollo XII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El LEM alunizó a menos de 200 metros de la sonda espacial Surveyor 3. Los astronautas realizaron una caminata hasta la sonda que estaba en la Luna desde hacía ya varios años.

Las transmisiones de TV fueron interrumpidas por un problema con la cámara a los pocos minutos de haberse iniciado.

Muestras recogidas: 34 kg de rocas lunares.

Se realizaron 2 EVA's.

Duración: 10 días.

Insignia de la misión: Fig. 14.

APOLO XIII

Lanzamiento: 11 abril de 1970.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Odyssey / Aquarius

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: James A. Lovell (Comandante), John L. Swigert y Fred W. Haise.

Tercer intento de alunizaje, esta vez no conseguido.

La misión abortó cuando un tanque de oxígeno del Módulo de Servicio explotó durante su travesía hacia la Luna, haciendo del vuelo del Apolo XIII, la misión tripulada más peligrosa hasta la fecha.

Los tres astronautas tuvieron que utilizar los sistemas del LEM para navegación, corrección de rumbo y regreso a la Tierra, después de haberle dado la vuelta a la Luna sin poder aterrizar en ella.

La NASA clasificó el vuelo como un “successful failure” debido a las experiencias obtenidas en el rescate de la tripulación.

Duración: 5 días.

Insignia de la misión: Fig. 15.



Figura 15: Insignia de la misión Apolo XIII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 15: Apollo XIII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XIV

Lanzamiento: 31 de enero de 1971.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Kitty Hawk / Antares.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Alan B. Shepard (Comandante), Stuart A. Roosa y Edgar D. Mitchell.

Alunizaje con éxito.

Localización: Cráter Fra Mauro.

Exploración en la región montañosa de Fra Mauro. La tripulación recogió numerosas muestras de una región diferente a las que se habían explorado anteriormente.

Primeras transmisiones de TV en color.

Hubo problemas de software y hardware en el LM durante la órbita lunar que estuvieron a punto de abortar el aterrizaje.

El vuelo se hizo famoso porque poco antes de salir de la Luna, Alan Shepard sacó de uno de sus bolsillos del traje espacial una pelota de golf, y usando una de las extensiones que



Figura 16: Insignia de la misión Apolo XIV. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 16: Apollo XIV mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

utilizó para recoger muestras lunares realizó un golpe que lanzó la pelota de golf la cual voló “millas y millas”.

Muestras recogidas: 43 kg de rocas lunares.

Se realizaron 2 EVA's.

Duración: 9 días.

Insignia de la misión: Fig. 16.

APOLO XV

Lanzamiento: 26 de julio de 1971.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Endeavour / Falcon.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: David R. Scott (Comandante), James B. Irwin y Alfred M. Worden.

Alunizaje con éxito.

Localización Lunar: Hadley-Apennine.

Fue la primera misión con permanencia más prolongada en la Luna (3 días).

Los astronautas utilizaron un vehículo lunar, el Lunar Rover Vehicle LRV para trasladarse a diferentes puntos en donde recogieron numerosas muestras de material lunar.

Muestras recogidas: 75 kg de rocas lunares.

Se realizaron 4 EVA's.

Duración: 12 días.

Insignia de la misión: Fig. 17.



Figura 17: Insignia de la misión Apolo XV. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 17: Insignia Apollo XV mission. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XVI

Lanzamiento: 16 de abril de 1972.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Casper / Orion.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: John W. Young (Comandante), Thomas K. Mattingly y Charles M. Duke.

Alunizaje con éxito.

Localización Lunar: Descartes Highlands.

Nuevamente se utilizó otro Moon Rover para realizar las travesías en la Luna. Se hizo un intenso estudio geológico que incluyó el disparo de un mortero hasta 19 veces para hacer estudios de sismología.

Muestras recogidas: 95 kg de rocas lunares.

Se realizaron 4 EVA's.

Duración: 11 días.

Insignia de la misión: Fig. 18.



Figura 18: Insignia de la misión Apolo XVI. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 18: Apollo XVI mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XVII

Lanzamiento: 7 de diciembre de 1972.

Nombres del CM y LEM respectivamente: America / Challenger.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Eugene A. Cernan (Comandante), Ronald B. Evans y Harrison H. Schmitt.

Alunizaje con éxito.

Tiempo en Superficie Lunar: 75 h.

Localización Lunar: Taurus-Littrow.

Ultima misión tripulada a la Luna del Programa Apolo, con primera participación de un científico (geólogo) en una misión espacial.

Los astronautas estuvieron en la superficie lunar un tiempo récord de 75 horas y realizaron varias travesías en el Rover.

Antes de salir de la Luna, Cernan desveló una placa en donde se conmemoraba el final del programa Apolo de exploración a la Luna.

Eugene Cernan fue el último astronauta en dejar la Luna. Hasta la fecha, ningún ser humano ha regresado.

Muestras recogidas: 111 kg de rocas lunares.

Se realizaron 4 EVA's.

Duración: 12 días.

Insignia de la misión: Fig. 19.



Figura 19: Insignia de la misión Apolo XVII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 19: Apollo XVII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XVIII-XX

Desgraciadamente las 3 siguientes misiones previstas a la Luna, Apolo XVIII, Apolo XIX y Apolo XX, fueron canceladas por motivos económicos.

Los costes del Programa Apolo se estiman en alrededor de 25 000 millones de dólares del año 1965, equivalentes a 135 000 millones de dólares del año 2005.

A lo largo de su desarrollo, alrededor de 400 000 personas trabajaron en él. Más de 20 000 empresas y universidades colaboraron en este proyecto.

El Programa Apolo estimuló avances en diversas tecnologías adyacentes a la astronáutica y vuelos espaciales tripulados. Es muy destacable su gran contribución en el campo de la aviónica, telecomunicaciones e informática. Aplicaciones tales como los circuitos integrados, las pilas de combustible, materiales o máquinas industriales de mecanizado por control numérico son ejemplos concretos del legado del Programa Apolo.

PROGRAMA CONSTELLATION

Constellation (Fig. 20) es el futuro programa de vuelos tripulados de la NASA, el cual prevé el desarrollo de una nueva generación de lanzadores y vehículos espaciales destinados a reemplazar el Space Shuttle así como mandar astronautas a la Luna e incluso a Marte.

Actualmente la NASA está desarrollando dos cohetes lanzadores: el ARES I y el ARES V.

El ARES I tendrá como función el de lanzar y poner en órbita terrestre a una misión tripulada.

El ARES V tendrá capacidad para lanzar una elevada carga, muy superior a la del ARES I, especialmente otros componentes a ser utilizados en las misiones.

Junto con estos lanzadores, la NASA está diseñando un conjunto de naves espaciales para ser utilizadas en el Programa Constellation: la cápsula tripulada ORION, el módulo lunar ALTAIR y la fase de salida terrestre Earth Departure Stage.

En la actualidad está teniendo lugar un intenso debate sobre la continuidad del presente programa. De no ser incrementado el presupuesto de la NASA, parece claro que el programa de vuelos tripulados va a ser inviable.

Módulo ORION

Va a ser el compartimento destinado a la tripulación. Constará de dos partes, el *Crew Module* CM, similar al *Command Module* (CM) del Apolo, pero con capacidad para transportar 6 tripulantes, y el *Service Module* (SM) que albergará los sistemas primarios de propulsión y los suministros consumibles. El CM será reutilizable para hasta 10 vuelos. La empresa seleccionada para la construcción del ORION (Fig. 21) es Lockheed Martin. Boeing construirá el escudo térmico.

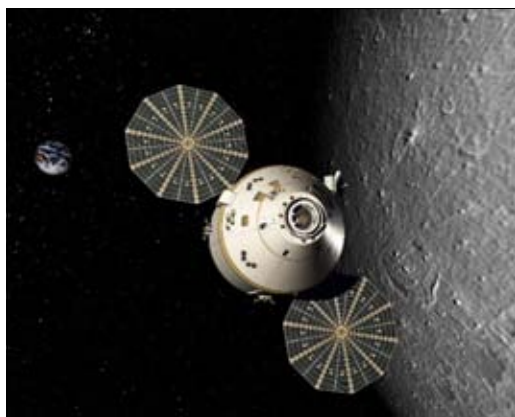


Figura 21: El Módulo ORION, será utilizado en el Programa Constellation, futuro programa de vuelos tripulados de la NASA. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 21: The ORION module will be used in the Constellation program, future spaceflight program of NASA. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Módulo Lunar ALTAIR

ALTAIR (Fig. 22) será el vehículo para el transporte de los astronautas a la superficie lunar. Será más grande que el LEM del Apolo, casi 5 veces más. Tendrá una altura de 9,7 metros y 14,8 metros de ancho (punta a punta).

Al igual que su predecesor el LEM del Apolo, ALTAIR constará de dos fases: una de ascenso que albergará a los 4 tripulantes, y una fase de descenso que tendrá las patas de aterrizaje, la mayor parte de los consumibles de la tripulación (oxígeno y agua), e instrumental científico. A diferencia del LEM del Apolo, el ALTAIR se dirigirá a las regiones polares de la Luna, que son las zonas preferidas por la NASA para la construcción de futuras bases lunares.



Figura 20: Logotipo de Constellation, futuro programa de vuelos tripulados de la NASA. (NASA/ Cortesía de nasaimages.org).

Figure 20: Constellation logo, future spaceflight program of NASA. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El ALTAIR, al igual que el LEM del Apolo, no es reutilizable y es desprendido después de haber sido utilizado.



Figura 22: El Módulo Lunar ALTAIR, vehículo para el transporte de los astronautas a la superficie lunar, formará parte del Programa Constellation. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 22: The ALTAIR Lunar Module, a vehicle for transporting astronauts to the lunar surface, will form part of the Constellation program. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Earth Departure Stage (EDS)

El EDS es un módulo de propulsión que impulsará la nave espacial hacia la Luna desde la órbita terrestre. Es la segunda fase del ARES V.

Cohetes Lanzadores ARES

A diferencia del Saturno V y del Space Shuttle, en los que la tripulación y carga eran lanzados juntos en el mismo cohete lanzador, el Programa Constellation se prevé el uso combinado de dos lanzadores distintos: el ARES I (Fig. 23) para la tripulación y el ARES V (Fig. 24) para la carga. De esta forma se puede optimizar el vehículo lanzador para sus respectivas misiones, especialmente para subir grandes cargas en cada misión.

ARES I

Será el cohete lanzador diseñado para transportar el módulo ORION hasta una órbita baja terrestre, LEO (Low Earth Orbit). Su primera fase consiste en un booster de combustible sólido SRB (Solid Rocket Booster), derivado de los boosters utilizados en el Shuttle. La segunda fase utiliza un motor cohete del tipo J-2X de combustible líquido, ya utilizado en el Apolo, siendo una versión actualizada y mejorada.

ARES V

Será un cohete lanzador con una capacidad máxima de carga de pago de alrededor de 188 toneladas a una órbita LEO, muy superior a la capacidad del Shuttle (24,4 toneladas) y a la del Saturno V (118 toneladas). El ARES V tendrá capacidad para transportar alrededor de 71 toneladas a la Luna.

El ARES V dispondrá de 5 motores cohete RS-68 de combustible líquido, además de 2 SRB. El ARES V funcionará durante los 8 primeros minutos, a continuación el EDS situará el ALTAIR en una órbita LEO a la espera de la llegada del módulo ORION.

El EDS es un diseño evolucionado de la 3ª fase, S-IVB, del Apolo, con mayor capacidad de tanques de combustible (LOX y LH2) y utilizando un motor J-2X del mismo tipo que el utilizado en el ARES I.



Figura 23: Cohete lanzador ARES I, diseñado para transportar el módulo ORION hasta una órbita baja terrestre. (NASA/ Cortesía de nasaimages.org).

Figure 23: Rocket launcher ARES I, designed to carry the ORION module into a low Earth orbit. (NASA/ Courtesy of nasaimages.org).

El EDS ofrecerá diferentes versiones según el tipo de misión, bien para viajar a la Luna (incluso a Marte) o a la Estación Espacial Internacional ISS. También podrá utilizarse para enviar sondas al espacio exterior del tipo Galileo o Cassini-Huygens.

Misiones a la Luna

A diferencia de los vuelos Apolo, en los cuales se lanzaban conjuntamente el CSM y el LEM en un mismo cohete Saturno V, esta misión lunar constaría de dos lanzamientos separados.

Por un lado se lanzaría el ARES V desde la plataforma 39A, transportando el EDS y el ALTAIR, y aproximadamente 90 minutos después, se lanzaría el ARES I desde la plataforma 39B transportando el módulo ORION.

El módulo ORION se encontraría con el ALTAIR/EDS en una órbita terrestre LEO, para acoplarse y formar una sola nave. El EDS se encendería de nuevo para inyectar la nave en una trayectoria trans-lunar, incrementando la velocidad desde 28 000 km/h hasta 40 200 km/h.

Una vez en la trayectoria trans-lunar, el EDS es lanzado y la nave (ORION+ALTAIR) continuaría su viaje de 3 días hacia la Luna.

Al llegar a la Luna, los motores del ALTAIR se encenderían para frenar la nave y situarla en una órbita lunar.

Se configuraría el módulo ORION para un vuelo automático no tripulado, pasando todos los tripulantes al módulo ALTAIR. Ambas naves se separarían, quedando el módulo no tripulado ORION en órbita lunar circular esperando la vuelta del ALTAIR.

Así pues todos los tripulantes descenderían con el ALTAIR hasta la superficie de la Luna. Una vez allí realizarían entre 5 y 7 salidas EVA recogiendo muestras y realizando experimentos.

Una vez completadas las operaciones en la superficie lunar, los tripulantes utilizarían la fase de ascenso del ALTAIR, encendiendo su motor y utilizando la fase de descenso como plataforma de lanzamiento, de forma similar a como se hizo con en las misiones Apolo.

Una vez en órbita, se acoplarían al módulo ORION al cual pasarían los astronautas con todas las muestras recogidas.

El módulo ALTAIR sería desprendido y lanzado hacia la Luna para estrellarse en ella.

La tripulación encendería el motor del ORION para situarse en una trayectoria terrestre para iniciar su viaje de vuelta a la Tierra.

Después de 2 días y medio, la tripulación lanzaría el módulo de servicio para que se desintegrara en la atmósfera e iniciaría la reentrada a la atmósfera de la Tierra, para finalmente amerizar en algún punto de la Costa Oeste de EEUU.

El módulo ORION sería devuelto al KSC para su reutilización.



Figura 24: Cohete lanzador ARES V. (NASA/ Cortesía de nasaimages.org).

Figure 24: Rocket launcher ARES V. (NASA /courtesy of nasaimages.org).

Futuras misiones tripuladas a la Luna

Además del Programa Constellation de los EEUU, otros países como Rusia, China, Japón y la India han mostrado interés en proyectos lunares.

El cuadro-resumen de la Tabla 1 muestra las misiones tripuladas a la Luna previstas por diferentes países.

A pesar de todo ello no parece que haya, a día de hoy, una decisión clara y decidida de volver a la Luna. El elevado coste de este tipo de misiones constituye un gran obstáculo. Las

condiciones históricas tan especiales que confluyeron en la era Apolo no parece que vayan a repetirse.

Otros problemas como puede ser el riesgo a la exposición a altos niveles de radiaciones ionizantes pueden suponer un obstáculo adicional, además del coste, para misiones prolongadas en la Luna o misiones a Marte.

País	Proyecto	Fecha de lanzamiento
EEUU 	<i>Constellation Program</i>	Junio 2019
Japón 		2020; base lunar 2030
India 		2020
China 		2022
Europa 	<i>Aurora Programme</i>	2024
Rusia 		2025

Tabla1: Futuras misiones tripuladas a la Luna.

Table 1: Future manned missions to the Moon.

Es probable que la iniciativa privada pueda jugar un papel mucho más destacado en los próximos años, que puedan estimular el desarrollo tecnológico y la actividad espacial.

En este sentido es destacable el Google Lunar X Prize, vigente desde 2007, que premiará con 20 millones de dólares al primer equipo que logre enviar un rover a la Luna capaz de desplazarse 500 m y después enviar imágenes de alta definición a la Tierra.

Al igual que como ocurrió con la Aviación, quizá la actividad espacial pueda crecer de la mano de la iniciativa privada. Para que ello ocurra se deberían definir reglamentos y leyes internacionales que estableciesen las reglas a tener en cuenta por las empresas explotadoras.

En definitiva, estamos en los inicios de una nueva actividad humana como es la exploración espacial y, a pesar de las lógicas dudas y reticencias que puedan surgir, su progreso va a ser imparable.

Como ya dijo en el siglo XIX el científico ruso Konstantin Tsiolkovsky, uno de los padres de la astronáutica:

“La Tierra es la cuna de la Humanidad, pero no podemos vivir para siempre en una cuna”.